

Ein Multi-Agenten-Ansatz zur Lösung des Fahrzeugumschlagproblems

Torsten Fischer und Hermann Gehring

Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik
Fachbereich Wirtschaftswissenschaften
FernUniversität Hagen
Profilstr. 8,
D-58084 Hagen

Abstract: Dieser Beitrag stellt einen Multi-Agenten-Ansatz zur Unterstützung der Disposition des Fahrzeugumschlages im Rahmen von Import- und Exportvorgängen über einen Seehafen vor. Die in der Praxis verantwortlichen, autonom operierenden Planer werden im Rahmen des Multi-Agenten-Systems jeweils durch unterschiedliche Agententypen repräsentiert. Jeder dieser Agenten verfügt gemäß seinem Aufgabengebiet (Personaleinsatz- bzw. Lagerplanung) über einen entsprechenden lokalen Lösungsalgorithmus in bezug auf eine lokale Zielfunktion. Die Zusammensetzung der dezentral erstellten Teillösungen zu einer Gesamtlösung wird von einem zentralen Koordinatoragenten auf der Basis einer Auktion mittels eines Kontrakt-Netzes vorgenommen. Im Rahmen dieser Auktion erstellen die einzelnen Agenten gemäß ihrer lokalen Zielfunktion Bearbeitungs- oder Flächenangebote, aus denen der Koordinatoragent die im Hinblick auf die globalen Zielfunktionen günstigsten Angebote auswählt. Das Lösungsverhalten der einzelnen Agenten und der implementierten Algorithmen wird anhand von diversen, zufällig erzeugten Testdatensätzen evaluiert.

1 Problemstellung

Im Bereich der Automobilindustrie, einem der weltweit bedeutendsten Wirtschaftszweige, ist in der jüngeren Vergangenheit ein zunehmender Trend hin zur Globalisierung zu erkennen. Mit dem durch die Globalisierung steigenden Transportaufkommen und Lagerbedarf wächst in diesem Bereich gleichzeitig auch die Nachfrage nach situationsbezogenen Logistikdienstleistungen. Besonders betroffen von der veränderten Situation sowie der Nachfragesteigerung sind vor allem die Automobilterminals in den Seehäfen, über die ein Grossteil des Fahrzeugumschlages im Rahmen von kontinentalen und interkontinentalen Import- und Exportvorgängen abgewickelt wird. Ein menschlicher Planer ist in dem dynamischen Umfeld der Import- und Exportvorgänge heute kaum noch in der Lage, den damit verbundenen Problemkomplex des Fahrzeugumschlages sowie der vorgelagerten Fahrzeuganlieferung und der nachgelagerten Fahrzeugauslieferung adäquat zu bewältigen. Um insbesondere eine effiziente Planung der zur Verfügung stehenden Stellflächen- und Personalressourcen zu gewährleisten, bedarf es zunehmend geeigneter Werkzeuge zur Planungsunterstützung.

Ausgehend von dem Problemkomplex des interkontinentalen Transportes von Neufahrzeugen wird im folgenden das sogenannte Fahrzeugumschlagproblem (FUP), ein allgemeines rollierendes Lagerhaltungsproblem für den Fahrzeugumschlag über einen Seehafen, betrachtet. Es umfasst im wesentlichen die drei Teilprobleme Kajendisposition, Stellflächenplanung und Personaleinsatzplanung. Bei den folgenden Ausführungen liegt der Schwerpunkt vor allem auf der Unterstützung der Personaleinsatz- und Stellflächenplanung für ein Seehafenimportterminal. Die in diesem Zusammenhang zu disponierenden Aufgaben sind im wesentlichen Fahrzeugbewegungsprozesse zwischen einer vorgegebenen Ausgangsfläche und einer ggf. auszuwählenden Zielfläche. Jede dieser Aufgaben lässt sich gemäß den beteiligten Stellflächen eindeutig zu einer der Aufgabenkategorien Entladung, Einlagerung, Umfuhr und Auslagerung zuordnen (siehe Abb. 1). Je nach Aufgabenkategorie bestehen hinsichtlich der Durchführung der Fahrzeugbewegungsprozesse diverse Freiheitsgrade, welche die zeitliche Durchführung, die zur Durchführung eingesetzte Anzahl von Fahrern und die Zielflächenauswahl betreffen. Im Rahmen der Personaleinsatzplanung wird jeder Aufgabe eine Bearbeitungsschicht, sowie ein gewisses Kontingent an Fahrerstunden für deren Durchführung zuge-

wiesen. Darüber hinaus stehen bei den Lagervorgängen Einlagerung und Umfuhr zusätzlich die Zielflächen im Importterminal zur Disposition.

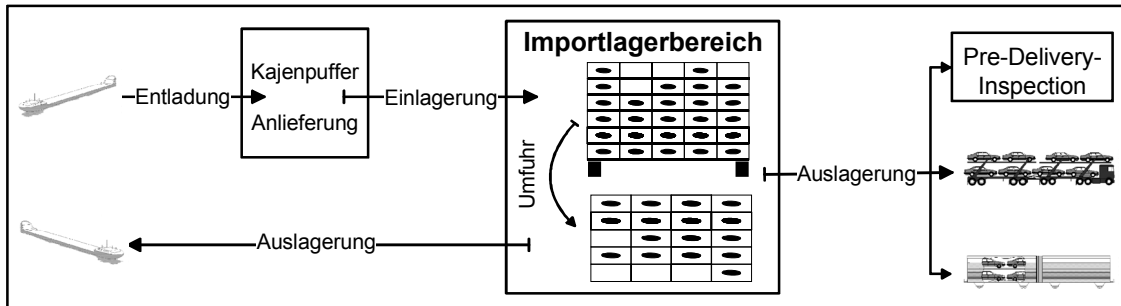


Abb. 1: Fahrzeugbewegungstypen im Rahmen von Import- und Exportvorgängen.

Die skizzierte Problemstellung (vgl. Abb. 1) in bezug auf die integrierte Personaleinsatz- und Stellflächenplanung im Seehafenverkehr wurde im Rahmen eines Freihafenprojektes an der Universität Bremen in ein mathematisches Modell abgebildet (siehe Mattfeld und Kopfer (1999)). Es wurde von Mattfeld bereits im Rahmen der Logistik-Management-Tagung 1999 in Bremen vorgestellt. Aufbauend auf diesem mathematischen Modell lässt sich die vorliegende Problemstellung des Fahrzeugumschlags im Rahmen von Importvorgängen wie folgt formalisieren: Gegeben sei eine Menge von Auftragsketten $A := \{A_i \mid i \in IN\}$ für einen bestimmten Planungshorizont U . Jeder Einzelaufgabe $a_{ij} \in A_i$ mit $j \in IN$ ist im Rahmen der Personaleinsatzplanung eine Bearbeitungsschicht sowie eine Anzahl an Fahrerstunden p_{ij} zuzuweisen. Darüber hinaus ist den Einlagerungs- und Umfuhrprozessen zudem eine möglichst günstige Zielfläche zuzuweisen. Zur Bewertung der Fahrzeugbewegungsprozesse a_{ij} wird eine Bewertungsfunktion $\Phi(q_{ij}, z_{ij})$ herangezogen, die den einzelnen Verfahrungsprozessen in Abhängigkeit von der Quellfläche q_{ij} und der Zielfläche z_{ij} einen Produktivitätswert zuweist. Dieser Wert gibt an, wie viele Fahrzeugbewegungen zwischen den beteiligten Flächen von einem Fahrer pro Zeittakt durchgeführt werden können. Die Zielsetzung des FUP besteht primär in der Minimierung des Gesamtfahrerstundenbedarfes

$$\min! \quad \sum_i \sum_j p_{ij} \quad (1)$$

für alle im Planungshorizont U einzuplanenden Einzelverfahrungsaufgaben a_{ij} . Darüber hinaus wird eine möglichst gleichmäßige Arbeitsauslastung der Schichten über den Planungshorizont hinweg angestrebt, was sich in der Minimierung der quadratischen Standardabweichung

$$\min! \quad \sum_{u \in U} (S_u - S_m)^2, \quad (2)$$

zwischen dem höchsten Fahrerbedarf in einer Schicht S_u und der durchschnittlich erforderlichen Anzahl von Fahrern S_m innerhalb des Planungszeitraumes U niederschlägt. Angestrebt wird somit eine Nivellierung des Fahrerstundenbedarfes über den gesamten Planungszeitraum.

2 Ein Multi-Agenten-System zur Planungsunterstützung

Die Problemstellung der Personaleinsatz- und Lagerplanung unter Berücksichtigung einer langfristigen Aufwandsminimierung und Auslastungsnivellierung ist im wesentlichen durch ein dynamisches Umfeld und ein hohes, komplexes Planungsaufkommen gekennzeichnet. Aufgrund der eben genannten Charakteristika und der dezentralisierten Planungszuständigkeiten bieten sich dezentrale Lösungsansätze zur Planungsunterstützung an. Mit ihrer Hilfe kann eine Komplexitätsreduktion durch Verteilung des gesamten Planungsaufkommens auf mehrere Planer über den gesamten Planungshorizont hinweg erzielt werden. Im folgenden wird daher eine Dekomposition der Problemstellung in die lokalen Planungsprobleme der Stellflächenplanung und der Personaleinsatzplanung einerseits und ein übergreifendes Koordinationsproblem andererseits vorgenommen.

Zur Umsetzung derartiger dezentraler Planungsansätze werden in der jüngeren Vergangenheit zunehmend Multi-Agenten-Systeme (MAS) propagiert (vgl. Brenner et al. (1998) oder Jennings et. al. (1995) und (1998/99)). Die in der Literatur angegebenen Anwendungsgebiete dieser Multi-

Agenten-Systeme zur Unterstützung von betrieblichen Planungsproblemen reichen von Problemstellungen in der Produktions- und Transportplanung (vgl. Zelewski (1998) oder Fischer et al. (1995)) bis hin zu Problemstellungen aus dem Bereich des Geschäftsprozessmanagements (vgl. z.B. Jennings et al. (1998/99)). In bezug auf die hier betrachtete Problemstellung existiert derzeit jedoch noch kein Planungsansatz auf der Basis eines Multi-Agenten-Systems. Ein bereits existierender Multi-Agenten-Ansatz zur Unterstützung der Personaleinsatzplanung in einem System- und Softwarehaus (vgl. Struve (1998)) kann aufgrund der Unterschiedlichkeit der zugrunde liegenden Problemstellung nur mit erheblichen Einschränkungen auf die hier vorliegende Situation der Personaleinsatzplanung angewendet werden.

Im Sinne der Dekomposition der Problemstellung bietet es sich im vorliegenden Fall an, den einzelnen Dispositionsproblemen der Stellflächenplanung, der Personaleinsatzplanung und der Planungskoordination je spezifische Agententypen zuzuordnen, welche die realen Planungsinstanzen im Multi-Agenten-System abbilden. In dem hier vorgeschlagenen Multi-Agenten-System übernimmt demnach der Flächenagent Import (FAI) für den Importlagerbereich die Stellflächenplanung über den gesamten Planungshorizont hinweg, während die Personaleinsatzplanung mehreren Schichtagenten übertragen wird. Die Schichtagenten ($SA_i, i = 1, \dots, n$) sind sowohl für die kurzfristige, als auch für die langfristige Personaleinsatzplanung der ihnen zugewiesenen Arbeitsschicht zuständig. Die Anzahl der de facto benötigten aktiven Schichtagenten hängt von der aktuellen Problemsituation und dem Planungshorizont ab. Die Stellflächen- und Personaleinsatzplanung wird von den jeweils zugeordneten Agenten (FAI bzw. SA_i) weitestgehend autonom unter Berücksichtigung spezifischer lokaler Zielsetzungen vorgenommen. Für die Koordination der lokalen Planungen unter Berücksichtigung der globalen Zielfunktionen ist der Planungskoordinatoragent (PKA) zuständig. Er trifft insbesondere die Auswahlentscheidungen hinsichtlich der endgültigen Stellflächen- und Schichtzuweisung für die einzelnen Aufträge. Die Koordination der lokal vorgenommenen Stellflächen- und Personaleinsatzplanungen erfolgt auf der Basis von Auktionen mittels eines Kontrakt-Netz-Verfahrens (siehe Sandholm (1993) und (1998)). Das hier zugrunde gelegte Kontrakt-Netz-Verfahren orientiert sich im wesentlichen an der von Zelewski zur Behebung von Koordinationsmängeln eingeführten Koordinator-Variante (vgl. Zelewski (1993)). Der Planungskoordinatoragent (PKA) übernimmt in diesem Fall die Rolle des zentralen Koordinators, der die Kontrakte zwischen dem Flächenagenten als Anbieter diverser Zielflächen und den Schichtagenten als Anbieter von Fahrerstunden zur Durchführung von Fahrzeugbewegungsprozessen schließt.

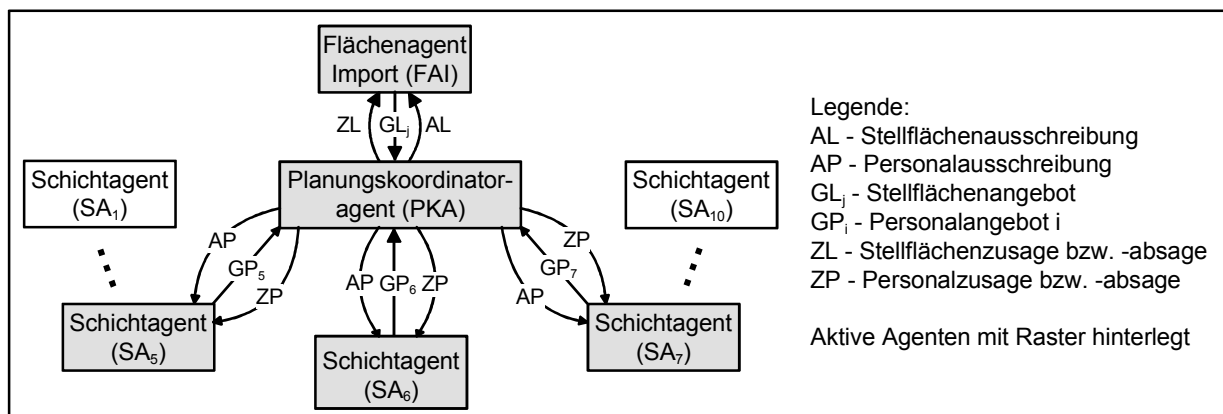


Abb. 2: Versteigerung eines Importauftrages in einem MAS mittels eines Kontraktnetzes.

Bevor jedoch eine Auktion mit Hilfe des Kontrakt-Netz-Verfahrens durchgeführt werden kann, muss der Planungskoordinatoragent in einem ersten Schritt zunächst eine Selektion der Schichtagenten im Hinblick auf die möglichen Kontraktpartner gemäss dem Auftragszeitfenster des zu verhandelnden Auftrags vornehmen. Nun versendet der Planungskoordinatoragent gleichzeitig eine Stellflächenausschreibung (AL) an den Flächenagent sowie eine Personalausreibung (AP) an die so selektierten Schichtagenten. Die Schichtagenten geben daraufhin entsprechende Bearbeitungsangebote in Form von anzubietenden Fahrerstunden (GP_i , hier $i = 5, 6, 7$) bzw. alternativen Bearbeitungsnachfragen in Form von benötigten Fahrerstunden an den Planungskoordinatoragenten ab. Ebenso gibt der Flächenagent Stellflächenangebote an den Planungskoordinatoragenten ab. Der

Flächenagent und die Schichtagenten verwenden hierbei unterschiedliche lokale Zielsetzungen, die von den globalen Zielfunktionen des zugrunde liegenden mathematischen Modells abweichen. So sind die Schichtagenten bestrebt, eine möglichst hohe und gleichmäßige Auslastung der von ihnen zu planenden Arbeitsschichten zu erreichen. Dies bewirkt, dass die einzelnen Schichtagenten um die zur Bearbeitung anstehenden Aufträge konkurrieren. Dagegen ist der Flächenagent bestrebt, eine möglichst kompakte Einlagerung der Fahrzeuge zu realisieren, um so große zusammengehörige Fahrzeuggruppen auch zusammenhängend lagern zu können. Langfristig gesehen können auf diese Weise zeitintensive Umlagerungsbewegungen vermieden werden. Die Auswahl der Fläche bzw. der Arbeitsschicht bzgl. eines Kontraktabschlusses nimmt der Planungsadministrator auf der Grundlage der beiden globalen Zielfunktionen vor, die dem Fahrzeugumschlagproblem unterlegt werden. Gemäß der ersten globalen Zielfunktion (1) wählt er zunächst diejenige Zielfläche aus, die den minimalen Fahrerstundenbedarf in bezug auf die gesamte abzuarbeitende Auftragskette aufweist. Die Zielfläche für eine Aufgabe a_{ij} ist demnach so zu wählen, dass der Gesamtaufwand für die zugrunde liegende Auftragskette A_i minimiert wird. Dies entspricht einer langfristigen Minimierung des Fahrerstundenbedarfes gemäß der globalen Zielfunktion (1). Aus den für diese Zielfläche verfügbaren Bearbeitungsangeboten wählt er dann gemäß der zweiten Zielfunktion (2) das Bearbeitungsangebot aus, dessen zugrunde liegende Arbeitsschicht die geringste prozentuale Gesamtauslastung aufweist und das zusätzlich eine möglichst hohe Anzahl an Fahrerstunden beinhaltet. Mit den spezifischen Stellflächen- bzw. Personalzusagen und -absagen (ZL bzw. ZP) an die an der Auktion beteiligten Agenten schließt der Koordinator die Auktion.

Sollten im angegebenen Zeitraum nicht genügend Personalkapazitäten für die Durchführung eines Verfahrungsauftrages zur Verfügung stehen, so besteht seitens der Schichtagenten die Möglichkeit zusätzliches Personal anzumieten. Um von dieser Alternative möglichst selten Gebrauch zu machen, werden in einem solchen Fall die benötigten Fahrerzeittakte verdoppelt. Durch die Verdoppelung der benötigten Fahrerkapazitäten stellt sich die Verwendung von externen Personalressourcen sowohl für die Schichtagenten im Sinne einer gleichmäßigen Schichtauslastung, als auch für den Planungsadministratoragenten im Sinne der Aufwandsminimierung als schlechte Alternative im Vergleich zur Verwendung der regulär zur Verfügung stehenden Ressourcen dar. Ähnlich wird bei mangelnden Stellflächenkapazitäten im Lagerbereich verfahren. Zur Kompensation fehlender Stellflächen steht eine Außenfläche als Ausweichfläche zur Verfügung. Sie wird jedoch mit recht geringen Produktivitätswerten versehen, um sie als Zielfläche im Sinne der Zielerreichung der Fahrerzeittaktminimierung unattraktiv werden zu lassen.

Zeitgleich mit der Stellflächenzusage (ZL) erhält der Flächenagent vom Planungsadministrator zusätzlich die Information, welcher Schichtagent letztendlich den Zuschlag erhalten hat, um so eine möglichst exakte zeitliche Einplanung der Fahrzeuge auf der jeweils ausgewählten Stellflächen realisieren zu können. Neben der Stellflächenplanung besitzt der Flächenagent keine weiteren Planungsaufgaben. Geplant ist jedoch, dem Flächenagent im Rahmen einer Systemerweiterung zusätzliche Planungsaufgaben zuzuweisen. So soll es dem Flächenagent zukünftig möglich sein, Umfuhrbewegungen zu generieren, um so den Fragmentierungsgrad der Stellflächen zu reduzieren und diese entsprechend höher auslasten zu können.

Ein Schichtagent nimmt nach einer Zusage seitens des Planungsadministratoragenten eine Feinterminierung des Bearbeitungsauftrages innerhalb des Schichtzeitfensters vor. Hierbei versucht der Schichtagent, den zu bearbeitenden Auftrag so in die aktuelle Schichtplanung zu integrieren, dass sich eine möglichst gleichmäßige Fahrerauslastung für die gesamte Schicht ergibt. Spitzenauslastungen in Form kurzer hoher Personalauslastungen sind unerwünscht und unter allen Umständen zu vermeiden. Zu diesem Zweck bestimmt der Schichtagent zunächst den zu diesem Planungszeitpunkt bestmöglichen Starttermin innerhalb der Schicht. Dazu werden die minimal ausgelasteten Zeittakte bestimmt, die in Verbindung mit benachbarten Zeittakten genügend freie Zeittakte zur Auftragsbearbeitung aufweisen. Die Einplanung des Arbeitsauftrages erfolgt dann durch Einlastung des Auftrags in eine Anzahl von zusammenhängenden minimal ausgelasteten Zeittakten. Ein solches Vorgehen bei der Feinterminierung der Arbeitsaufträge innerhalb des Schichtzeitfensters trägt zur Verbesserung des Zielfunktionswertes der zweiten Zielfunktion (2), der langfristigen Nivellierung des Fahrerstundenbedarfes, bei.

3 Evaluation des agentenbasierten Planungsunterstützungssystems

Das entwickelte Multi-Agenten-System einschließlich der lokalen Planungsalgorithmen und des Koordinationsmechanismus wurde in Java programmiert und mit Hilfe zufällig erzeugter Probleminstanzen auf einem PC (Pentium III, 450Mhz) getestet. Die Testbasis besteht aus vier Problemklassen mit jeweils 90 Probleminstanzen. Jeder Problemklasse (vgl. Tab. 1) liegt ein unterschiedlicher Betrachtungszeitraum gemessen in Arbeitsschichten zugrunde; die Anzahl n der Arbeitsschichten beträgt 750, 1500, 2250 und 3000. Zur Konfiguration der 90 Probleminstanzen innerhalb der Problemklassen wurden die Parameter „durchschnittliche Terminalverweildauer“ (vd) und „herstellerspezifische Fahrzeuganteile“ (FA) herangezogen. In bezug auf die durchschnittliche Terminalverweildauer wird entweder allen Fahrzeugherstellern ein Durchschnittswert von 150 oder 200 Arbeitsschichten zugewiesen oder aber der Durchschnittswert schwankt je nach Hersteller zwischen 100 und 200 Arbeitsschichten. Ebenso wie die Terminalverweildauern wurden auch die Fahrzeuganteile in drei individuelle Verteilungen untergliedert. Die herstellerspezifische Fahrzeugverteilung „MA99“ orientiert sich an den Marktanteilen der importierenden Automobilhersteller im Jahr 1999, wohingegen sich die Verteilung „Stand“ an den Umschlägen in einem großen europäischen Seehafenterminal orientiert. Zusätzlich zu diesen relativ praxisnahen Fahrzeugverteilungen wird im folgenden auch die Gleichverteilung „GL455“ zur Evaluation des Planungsvorgehens herangezogen.

Parameter Problemklasse	Fahrzeugverteilung FA	durchs.Verweildauer vd	Zufallsfolge z
$n = 750$	Stand, MA99, GL455	150, 200, [100,200]	$z \in IN$
$n = 1500$	Stand, MA99, GL455	150, 200, [100,200]	$z \in IN$
$n = 2250$	Stand, MA99, GL455	150, 200, [100,200]	$z \in IN$
$n = 3000$	Stand, MA99, GL456	150, 200, [100,200]	$z \in IN$

Tab. 1: Testinstanzen mit den jeweiligen Parameterkonfigurationen.

Für jede Problemklasse wurden mit Hilfe unterschiedlicher Zufallszahlenfolgen z jeweils 90 Testinstanzen generiert und mit dem Multi-Agenten-System bearbeitet. Zur Durchführung der Stellflächen- und Personalplanung standen jeweils 30.000 leere Stellflächenplätze sowie eine feste Fahreranzahl pk pro Schicht zur Verfügung. Um das Planungsverfahren des Multi-Agenten-Systems unter unterschiedlichen personellen Bedingungen zu untersuchen, wurden die Berechnungen mit drei unterschiedlichen Personalkapazitäten $pk, pk \in \{50, 75, 100\}$, durchgeführt.

Die Ergebnisse der einzelnen Testläufe werden im folgenden grafisch veranschaulicht, wobei jeder ausgewiesene Punkt einen Mittelwert über 90 Probleminstanzen repräsentiert. Die Darstellung der Rechenzeiten erfolgt ohne Berücksichtigung des Zeitbedarfes für Kommunikationsprozesse. Der Rechenzeitbedarf des Multi-Agenten-Systems für die Erstellung eines Stellflächen- und Schichtplanes schwankt in Abhängigkeit von der jeweils zu bearbeitenden Problemgröße zwischen 30 und 160 Sekunden (vgl. Abb. 3b).

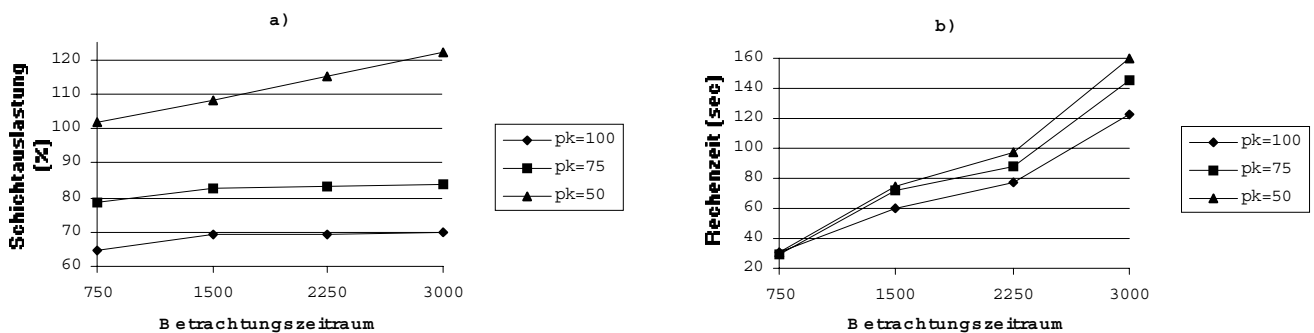


Abb. 3: Prozentuale Schichtauslastung und Rechenzeit.

Während sich bei Personalkapazitäten von $pk=100$ und $pk=75$ die durchschnittliche prozentuale Schichtauslastung mit einer Verlängerung des Betrachtungszeitraumes nur wenig verändert (vgl. Abb. 3a), ist bei einem zur Verfügung stehenden Schichtpersonal von $pk=50$ mit zunehmender Problemgröße ein starker Anstieg der prozentualen Schichtauslastung zu beobachten. Dies ist vermut-

lich darauf zurückzuführen, dass mit dem zunehmenden Betrachtungszeitraum auch die Zahl der Aufträge mit großer zeitlicher Dringlichkeit zunimmt. Eine Verlagerung dieser Aufträge auf spätere Schichten ist daher nur noch bedingt möglich. Aufgrund der Überlastung der Personalkapazitäten im Fall $pk=50$ werden hinsichtlich der Zielfunktionswerte im folgenden ausschließlich die Testläufe mit $pk=75$ bzw. $pk=100$ evaluiert (vgl. Abb. 4).

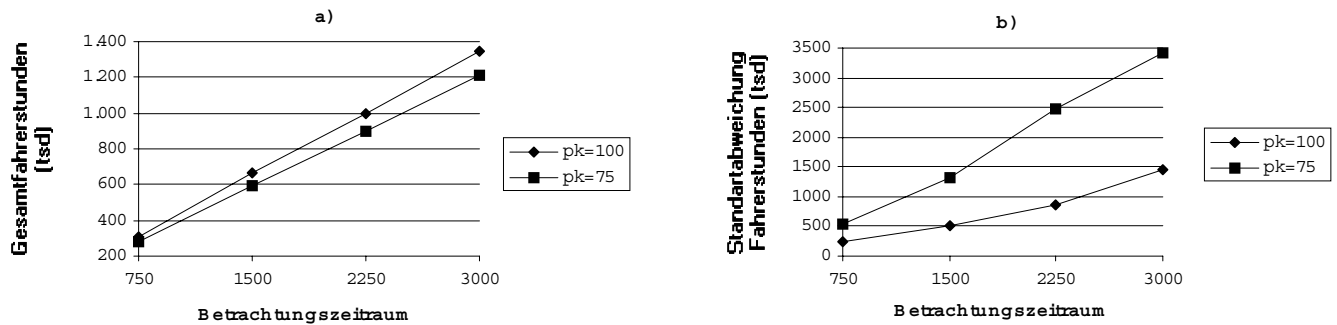


Abb. 4: Verplante Gesamtfahrerstunden und quadratische Standardabweichung

Hinsichtlich der Gesamtfahrerstunden weisen die Testläufe mit 75 Fahrern trotz der knapperen Ressourcen leicht bessere Werte gegenüber denen mit 100 Fahrern auf (vgl. Abb. 4a). Dieser Trend kehrt sich jedoch im Hinblick auf die quadratische Standardabweichung deutlich um. Hier liegen die Werte der Durchläufe mit einer Personalkapazität von 100 Fahrern z.T. deutlich unter denen mit 75 Fahrern. Alles in allem ist jedoch bei der vorliegenden Planungssituation die Personalkapazität von 75 Fahrern zu bevorzugen, da diese trotz einer höheren durchschnittlichen Schichtauslastung im Hinblick auf die Minimierung der Gesamtfahrerstunden die besten Werte liefert.

4 Ausblick

Was den verwendeten Koordinationsmechanismus sowie die verwendeten lokalen Algorithmen betrifft, bieten sich verschiedene Erweiterungsmöglichkeiten an. Beispielsweise wäre zu untersuchen, in wie weit sich bereits in anderen Bereichen bewährte Algorithmen – z.B. aus dem Bereich der Containerstauplanung – auf die hier vorzufindende Situation anpassen lassen. Ferner wäre im Zusammenhang mit dem Koordinationsmechanismus die Auswirkung eines strategischen Verhaltens der Schichtagenten auf die Lösungsqualität zu untersuchen. Eine wesentliche Erweiterung des vorgestellten Multi-Agenten-Ansatzes könnte die Integration eines Lernsystems in das Unterstützungssystem darstellen. Mit Hilfe eines solchen Lernsystems könnten u.a. a priori nicht bekannte Planungsparameter auf der Basis von Vergangenheitsdaten geschätzt werden, um so eine effektivere Einplanung der entsprechenden Fahrzeuggruppen gewährleisten zu können.

Literatur

- BRENNER W., et al. (1998): Intelligente Softwareagenten – Grundlagen und Anwendungen. Springer Verlag Berlin u.a. 1998.
- FISCHER et al. (1995): A Model for Cooperative Transportation Scheduling. In: Lesser, V. (Ed.): Proceedings of the First International Conference on Multiagent Systems (ICMAS'95), MIT Press, S. 109-116.
- JENNINGS, N.R. et al (1995): Intelligent Agents: Theory and Practice. In: The Knowledge Engineering Review 10 (1995) 2, S. 115-152.
- JENNINGS, N. R., et al. (1998/99): Autonomous Agents for Business process Management, Dep. of Electronic Engineering Queen Mary & Westfield College, University of London 1998/99.
- MATTFELD, D., KOPFER, H. (1999): Integrierte Personaleinsatz- und Lagerplanung für den Automobilumschlag. Universität Bremen, Fachbereich 7, Lehrstuhl für Logistik, Mai 1999.
- SANDHOLM, T. (1993): An Implementation of the Contract Net Protocol Based on Marginal Cost Calculations. In: Proceedings of the 11th Nat. Conf. on Artificial Intelligence (AAAI-93), Washington D.C., S.256-263.
- SANDHOLM T. (1998): Contract Types for Satisficing Task Allocation: I Theoretical Results. AAAI-98 Spring Symposium: Satisficing Models, Stanford University, California, March 23-25.
- STRUVE, B. (1998): Agentensysteme zur Modellierung eines Personalplanungsprozesses in einem System- und Softwarehaus. Diplomarbeit, Lehrstuhl Wirtschaftsinformatik, FernUniversität Hagen 1998.
- ZELEWSKI, ST. (1993): Multi-Agenten-Systeme für die Prozeßkoordinierung in komplexen Produktionssystemen. Arbeitsbericht Nr. 46, Universität zu Köln 1993.

ZELEWSKI, ST. (1998): Multi-Agenten-Systeme – ein neuartiger Ansatz zur dezentralen Feinterminierung von Produktionsaufträgen. In Wildemann, H. (Hrsg.): Innovationen in der Produktionswirtschaft, München 1998.